УДК 658.012.011.56.681.324

ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫЕ СРЕДСТВА РАЗРАБОТКИ СИСТЕМ ОПЕРАТИВНОГО ДИСПЕТЧЕРСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОТРАНСПОРТНЫМИ СЕТЯМИ

Р.В. Ковин, А.В. Кудинов, Н.Г. Марков, С.А. Богдан

Институт «Кибернетический центр» ТПУ
E-mail: gislab@ce.cctpu.edu.ru

Проанализированы задачи оперативного диспетчерского управления в газотранспортной отрасли. Предложены принципы разработки отраслевых автоматизированных систем диспетчерского управления. Описана инструментальная система, реализующая эти принципы.

Введение

Внедрение информационных технологий позволяет значительно повысить эффективность производства в газотранспортной отрасли. Автоматизация производства в этой отрасли часто приводит к уменьшению численности специалистов на некоторых этапах технологических процессов, однако существуют такие области производства, в которых роль человека в автоматизированных системах управления очень важна, в частности, роль диспетчера в управлении газотранспортными сетями.

Решение задач оперативного диспетчерского управления в газотранспортной отрасли предполагает, что диспетчерские службы получают в режиме реального времени технологические данные о состоянии газотранспортных сетей от систем автоматики и телемеханики и/или от автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУ ТП), используемых в отрасли. Кроме того, для принятия эффективных решений диспетчерские службы должны вести в рамках тех или иных моделей сети расчеты потоков газа. Для обработки и анализа технологических данных, проведения таких расчетов и визуализации полученной информации необходимы высокоавтоматизированные системы оперативного диспетчерского управления с соответствующим многофункциональным программным обеспечением (ПО).

В настоящее время в России, учитывая многообразие задач автоматизации диспетчерских служб газотранспортной отрасли, в решении проблемы

создания систем диспетчерского управления сделаны только первые шаги [1, 2]. Чаще всего разрабатываются программные средства для решения частных потоковых задач, либо создаются информационные системы для поддержки только части функций диспетчера на основе результатов обработки и анализа технологических данных [2, 3].

В данной работе рассмотрены инструментальные средства, позволяющие создавать автоматизированные системы оперативного диспетчерского управления для решения всего комплекса задач диспетчерских служб при управлении газотранспортными сетями отрасли.

1. Задачи оперативного диспетчерского управления газотранспортными сетями

Основная задача диспетчера при оперативном управлении элементами газотранспортной сети или ее участком состоит в обеспечении такого режима работы элементов сети, при котором продукт транспортировки был бы доставлен от поставщика к потребителю в заданное время в заданном объеме. При решении этой задачи диспетчер, прежде всего, должен обеспечить безаварийность, технологичность и экологичность процесса транспортировки газа и газоконденсата.

Любое управляющее воздействие диспетчера на элементы газотранспортной сети основывается на информации о возможных способах воздействия на состояние сети, о текущем состоянии сети, а также на информации о том, в какое состояние она перейдет в результате этого воздействия. Кроме того, существует ряд трудноформализуемых требований, которые определяют действия диспетчера. К ним, например, относится учет перечня потребителей, обеспечение которых продуктом транспортировки должно вестись в приоритетном порядке (социально значимые объекты – школы, больницы и т. д.). На основе всей этой информации диспетчер принимает решение о способе воздействия на элементы газотранспортной сети для решения своей основной задачи. Очевидно, что чем полнее, точнее и актуальнее эта информация, тем более обоснованы диспетчерские решения и тем эффективнее выполнение основной задачи управления сетью.

Поскольку объем технологических данных, описывающих состояние сети велик, то при решении задачи обеспечения диспетчера необходимой информацией возникает надобность в оперативных агрегированных технологических и/или расчетных данных (*on-the-fly computing*). Расчетные данные, полученные в рамках даже простых моделей сети, могут позволить диспетчеру быстро оценить состояние сети, в которое она перейдет в результате управляющих воздействий, и сократить время принятия решения.

В настоящее время в ОАО «Газпром» сформулирована и реализуется концепция отраслевой системы оперативного диспетчерского управления (ОСОДУ) газотранспортными сетями Единой системы газоснабжения (ЕСГ) России [1, 2]. Согласно этой концепции оперативное диспетчерское управление газотранспортными сетями ЕСГ должно осуществляться на четырех иерархических уровнях. При этом результаты решения потоковой задачи на уровне центрального производственно-диспетчерского управления ОАО «Газпром» представляют собой задания для следующих по иерархии центральных диспетчерских служб газотранспортных предприятий отрасли. На уровне этих служб рассчитывается режим работы региональных участков газотранспортных сетей. Результаты расчетов, в свою очередь, определяют деятельность диспетчерских служб линейно-производственных управлений в составе газотранспортных предприятий и далее аналогично до нижнего уровня – компрессорных станций и компрессорных цехов.

2. Принципы разработки и технические решения при создании ОСОДУ

Учитывая концепцию ОАО «Газпром» по созданию ОСОДУ и опираясь на результаты нашей работы [3], можно сформулировать следующие принципы ее построения.

1. Структура является многоуровневой и иерархической, т. е. ОСОДУ – это совокупность взаимосвязанных систем оперативного диспетчерского управления разного уровня.
2. ОСОДУ имеет средства для создания и поддержания единого информационного пространства газотранспортной отрасли.
3. Принцип открытости, позволяющий также решать задачи непрерывного ее развития.
4. Унификация основных режимно-технологических задач, решаемых в системе.
5. Наличие высокого уровня информационной безопасности.

Кратко прокомментируем эти принципы. ОСОДУ газотранспортными сетями должна иметь сложную многоуровневую структуру и позволять решать единую потоковую задачу газораспределения путем необходимой и достаточной агрегации и передачи информации от нижних уровней иерархии к верхним и точного выполнения заданий вышестоящих диспетчерских служб. Система должна обеспечивать обмен технологической и расчетной (аналитической) информацией между уровнями иерархии диспетчерского управления и тем самым создавать для всех диспетчерских служб отрасли единое информационное пространство. Объемы передаваемой оперативной технологической и расчетной (аналитической) информации, а также реализация принципа агрегации информации от нижнего уровня к верхнему, должны определяться регламентом взаимодействия диспетчерских служб разных уровней.

Открытость ОСОДУ предполагает возможность ее взаимодействия с финансово-хозяйственными системами газотранспортного предприятия, в первую очередь, путем решения задач экспорта и импорта данных. Внедрение информационных технологий при автоматизации диспетчерского управления – процесс итерационный, поэтому система должна проектироваться с учетом технологий ее непрерывного развития и включать средства, позволяющие расширять ее функционал.

Для обеспечения функций централизованного управления единой сетью газопроводов путем взаимодействия диспетчерских служб необходима унификация основных режимно-технологических задач в части совместимости результатов их решения при одинаковых исходных данных [3]. Это влечет за собой создание нормативной базы используемого прикладного ПО для расчета режимов [1]. Такая унификация позволит избежать неоднозначности при взаимодействии, как между различными производствами газотранспортного предприятия, так и между газотранспортными предприятиями отрасли.

Решение проблемы информационной безопасности предполагает создание в рамках ОСОДУ комплексной защиты информации с заданным классом защищенности информационных ресурсов и информационных технологий от внешних и внутренних угроз [1]. ОСОДУ должна обладать гибким механизмом раздачи прав доступа и регистрации действий диспетчера. Кроме того, необходима сертификация класса безопасности системы согласно стандартам, предъявляемым Гостехкомиссией России.

Решение проблемы создания ОСОДУ требует одновременного учета структуры системы и ее функций, поэтому следует использовать структурно-функциональный метод системного анализа [4]. При этом, прежде всего, следует определить основную функцию (цель) системы. Цель ОСОДУ состоит в *поддержке процесса управления потоками газа в ЕСГ* [2]. Затем следует произвести анализ этой цели путем ее декомпозиции, при этом декомпозицию подцелей следует продолжать до тех пор, пока не будут получены элементарные цели, достижимы с помощью известных средств. Результат можно представить в виде иерархии целей (субординированной совокупности необходимых условий достижения главной цели), в которых цели нижнего уровня иерархии подчинены целям верхнего уровня, а цели верхнего уровня недостижимы, пока не достигнуты все цели ближайшего нижнего уровня [4]. Такая иерархия, согласно структурно-функциональному методу, будет являться основой для синтеза структуры ОСОДУ. Учитывая результаты анализа, а также сформулированные принципы разработки системы, были предложены следующие технические решения.

Каждый уровень ОСОДУ строится на основе *клиент-серверной архитектуры*, при которой вся оперативная технологическая и иная информация поступает на сервер (серверы) баз данных (БД), а клиентское ПО позволяет оперировать этой информацией как в оперативном многопользовательском режиме, так и в режиме анализа исторических данных. На каждом уровне диспетчерского управления используется единообразное *базовое* как клиентское, так и серверное ПО. Такой подход позволяет, во-первых, осуществить работу диспетчерских служб в *едином информационном пространстве,* во-вторых, позволяет существенно снизить стоимость разработки и эксплуатации ОСОДУ, в-третьих, единообразие ПО позволяет диспетчеру легко адаптироваться к системе при кадровых изменениях, например, при переходе диспетчера из одного подразделения в другое.

Серверное ПО решает задачи сбора, безопасного хранения, управления технологическими и аналитическими данными и задачи передачи этих данных между различными уровнями ОСОДУ. В качестве *базового* серверного ПО на каждом из уровней системы должна использоваться *современная промышленная СУБД.* При территориальной распределенности производства технологическая информация также может храниться распределенно на нескольких серверах данных, образующих иерархию, между которыми должен быть настроен обмен данными. Учитывая, что одним из принципов построения ОСОДУ является многоуровневость и иерархичность структуры системы, клиентское ПО должно иметь единые принципы построения на всех уровнях диспетчерского управления. Это предполагает формирование *базового* (*типового*) ПО системы, состоящего из *набора функциональных модулей*, каждый из которых предназначен для решения определенного класса задач: визуализации мнемо- и технологических схем, построения трендов, ведения журнала событий и др. Такая модульность позволяет формировать рабочее место диспетчера любого уровня с использованием только необходимых ему функций.

Таким образом, концепция создания ПО ОСОДУ состоит в разработке *ПО инструментальной системы* (*базового ПО*), на основе которого создается *ПО семейства* систем для разных уровней диспетчерского управления [5]. Адаптация системы для различных служб газотранспортного предприятия может реализовываться *индивидуальной настройкой* системы. Такая настройка может содержать включение/отключение дополнительной функциональности, выбор основных технологических параметров, трендов, мнемосхем и т. д. Учитывая требования информационной безопасности системы, в ее составе должна быть *подсистема администрирования*, позволяющая разграничивать права доступа к системе, настраивать параметры обмена данными между серверами системы и др. Важным параметром любой информационной системы является ее открытость. Для ОСОДУ *открытость* предполагает возможность импорта и экспорта данных. Интерфейс пользователя должен позволять легко экспортировать результаты работы системы как в гра-

фическом виде, так и в числовом (текстовом) в программы Microsoft Office (в первую очередь в Microsoft Word и Microsoft Excel).

Для всех уровней диспетчерского управления интерфейс пользователя должен быть *простым и удобным*, отвечающим современным эргономическим требованиям. На уровнях с небольшим объемом оперативной технологической и аналитической информации интерфейс должен быть предельно понятным и лаконичным. В то же время для более высоких уровней диспетчерского управления, где объем оперативной технологической и иной информации может быть значительным, необходимы дополнительные аналитические функции, расширяющие функционал системы, но не усложняющие интерфейс пользователя.

3. Инструментальная система «Магистраль-Восток»

В лаборатории Геоинформационных систем (ГИС) Института «Кибернетический центр» Томского политехнического университета создана инструментальная система «Магистраль-Восток», основанная на вышеизложенных принципах и технических решениях. Рассмотрим ее основные подсистемы (рис. 1).

В состав системы входят распределенные БД с технологической, паспортной, картографической и плановой информацией, управляемые промышленной СУБД Microsoft SQL Server 2000. Поддерживается неограниченное число удаленных серверов системы, в том числе, находящихся на различных уровнях диспетчерского управления. Серверная компонента системы поддерживает синхронность данных и осуществляет автоматическую передачу данных между удаленными серверами. Механизм передачи данных реализован на средствах репликации СУБД Microsoft SQL Server 2000, дополненных оригинальными надстройками. В состав системы входит универсальный модуль для сбора технологических данных от ряда АСУ ТП, поддерживающих стандарт OPC (OLE for Process Control). Ядро клиентского ПО системы построено по модульному принципу и позволяет управлять подсистемами с помощью *менеджера подсистем*. Процесс формирования специализированной системы, соответствующей требуемому уровню диспетчерского управления, на базе инструментальной системы сводится, в первую очередь, к определению набора подсистем и адаптации модели данных системы к особенностям предприятия (настройка метаданных). Базовым инструментальным

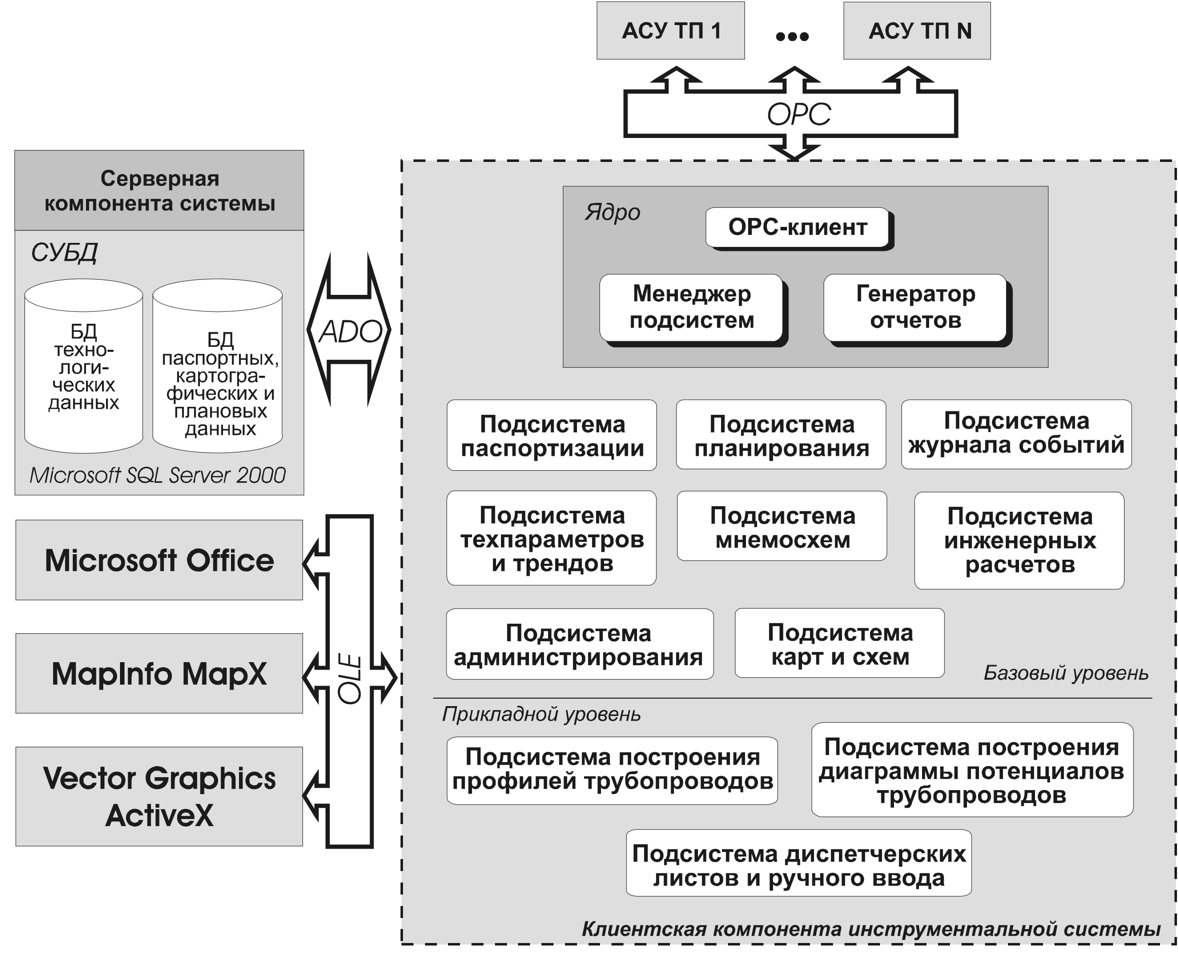


Рис. 1. Структура инструментальной системы «Магистраль-Восток»

средством при этом является *подсистема администрирования*.

Существует набор подсистем базового уровня, использование которых не зависит от специфики уровня управления сетями. При необходимости, для реализации требуемой функциональности специализированная система может быть дополненная другими подсистемами прикладного уровня, в том числе, и вновь разработанными. В базовом клиентском ПО имеется *подсистема паспортизации*, предназначенная для просмотра, редактирования и поиска паспортной информации по различным технологическим объектам газотранспортной сети. Все паспортизируемые объекты делятся на классы объектов. Классы объектов, в свою очередь, образуют *базовую иерархию классов*, которая показывает какие иерархические связи могут быть между объектами тех или иных классов (рис. 2). Для диспетчера такая иерархия представляется в виде дерева, узлами которого могут быть классы объектов и объекты класса. Как правило, у разных диспетчеров есть потребность работать только с интересующими их объектами, выстроенными в определенной иерархии, а не со всем базовым деревом. Поэтому в инструментальной системе используется *концепция пользовательских деревьев*. Она предполагает формирование произвольного числа частных иерархий, являющихся подмножеством базовой иерархии. Можно сформировать не только любое число пользовательских деревьев, но и задать каждому узлу дерева индивидуальные свойства.

В базовое клиентское ПО входит *подсистема технологических параметров и трендов*, предназначенная для просмотра как оперативных технологических данных, так и исторических данных в табличном и графическом виде. Для этого в подсистеме имеются средства *фильтрации и сортировки данных*, позволяющие быстро из большого списка технологических параметров выбрать интересующие и сформировать группы наиболее часто используемых параметров. Подсистема позволяет сформировать произвольное количество индивидуальных групп трендов значений технологических параметров как на одинаковые, так на разные временные отрезки. Встроенный механизм слежения за изменениями технологических параметров дает возможность в реальном времени отображать такие изменения табличном виде и в графическом виде на трендах.

Основное назначение *подсистемы мнемосхем* – оперативное отображение на мнемосхемах технологических процессов состояния оборудования и его технологических параметров. Каждая мнемосхема представляет собой объектно-ориентированное векторное изображение, состоящее из различных графических объектов (рис. 3). Такие объекты

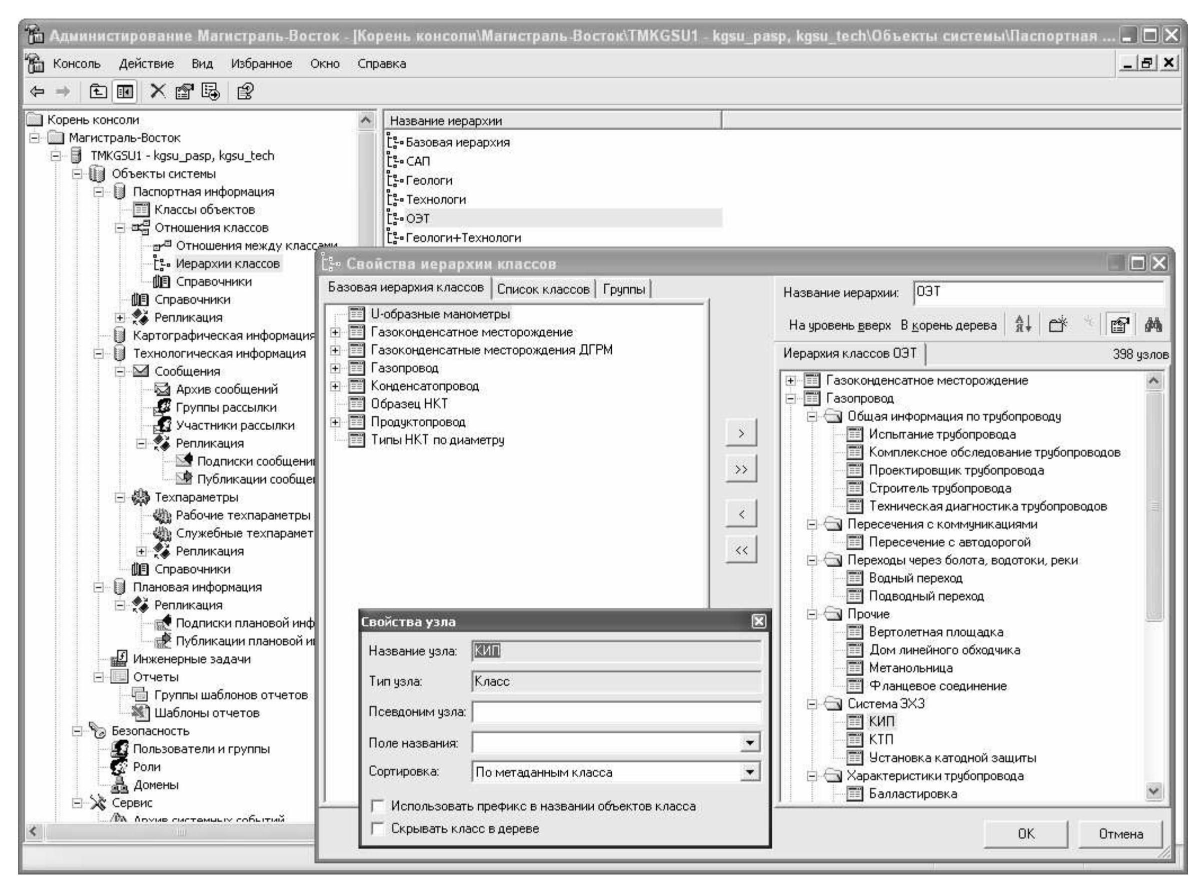


Рис. 2. *Пример интерфейса подсистемы администрирования в части настройки пользовательских деревьев*

изображают те или иные объекты производства и основные технологические показатели состояния оборудования. Подсистема использует внешнюю графическую библиотеку Vector Graphics ActiveX.

Имеется *геоинформационная подсистема*, выполненная на основе библиотеки MapInfo MapX и реализованная в виде отдельной *подсистемы визуализации карт и технологических схем*. Она позволяет работать с многослойными векторными и растровыми картографическими материалами различных масштабов, а также внемасштабными технологическими схемами и планами. Как и мнемосхемы, карты и схемы хранятся на сервере, а изменения, сделанные дизайнером карт и схем, отображаются у всех пользователей. Для решения задач планирования мероприятий по устранению аварий система располагает функциями определения необходимых ресурсов для устранения аварии и прокладки пути на карте к месту аварии. Результаты планирования таких мероприятий могут быть представлены в виде плана мероприятий (*подсистема планирования*) и в виде схемы, на которой состояния элементов сети отображают аварийный режим работы сети.

При решении задач потокораспределения и планирования текущего штатного режима работы сети, имеется *подсистема инженерных расчетов*, при этом в качестве данных для расчета используются как паспортные атрибуты объектов, так и актуальные значения технологических параметров. Результаты расчетов могут быть представлены на схеме сети трубопроводов через изменение стиля отображения графических элементов, соответствующих технологическим объектам сети. В настоящее время имеются модули, реализующие теплотехнический расчет участка трубопровода, расчет потерь сухого газа, расчеты пропускной способности и эффективности участка. При необходимости, вновь реализованные расчетные модули могут быть добавлены к системе по технологии *plugin*. Для оперативного контроля ключевых технологических параметров также может использоваться *подсистема формирования диспетчерских листов и ручного ввода*. Эта подсистема основана на Microsoft Office Excel. Она также может работать в режимах просмотра или редактирования. В режиме просмотра диспетчер на обычном листе MS Excel может в *реальном времени* наблюдать значения технологических параметров, а также выполнять ручной ввод определенных параметров (например, при аварийной ситуации). Режим редактирования предназначен для разметки и настройки листа. Примером тесной интеграции системы с приложениями Microsoft Office может быть также подсистема *генерации отчетов*. Выполненная в виде внешнего приложения она позволяет формировать шаблоны требуемых отчетных форм и осуществлять их построение в виде готовых документов Microsoft Office Excel.

Заключение

В работе рассмотрены задачи диспетчерского управления газотранспортной сетью. Предложены и обоснованы принципы построения автоматизированной системы управления, отвечающие принятой в отрасли концепции построения ОСОДУ.

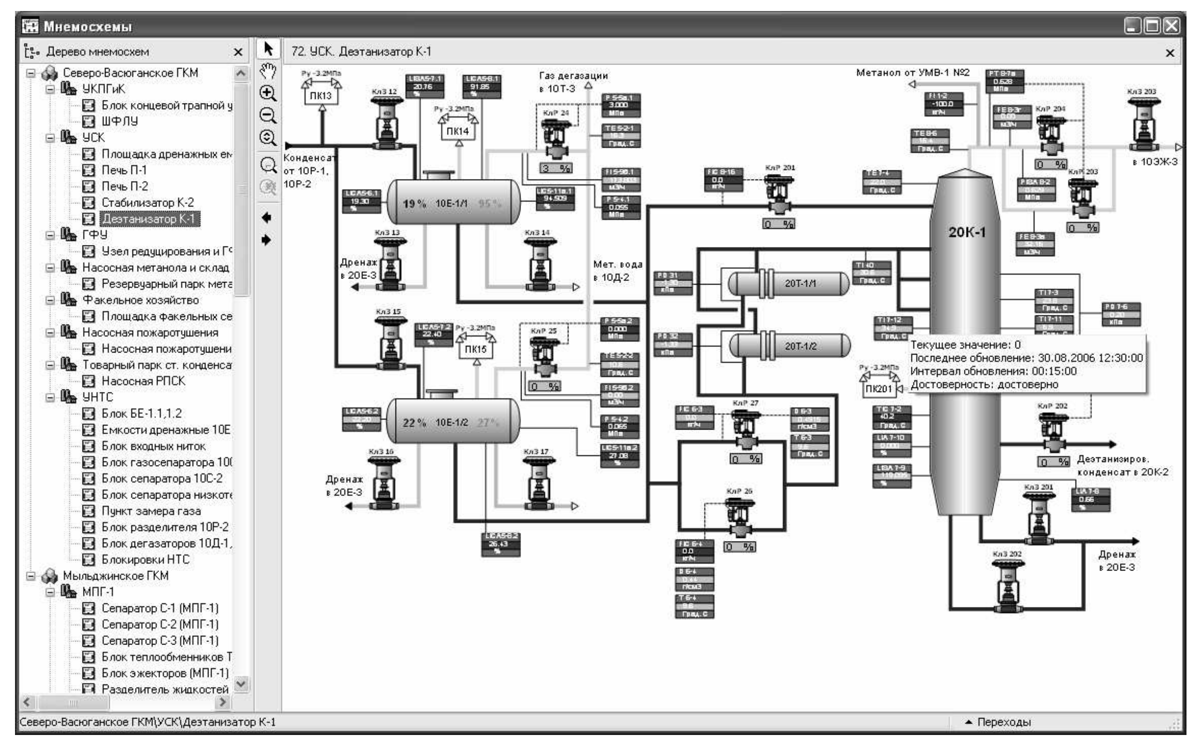


Рис. 3. *Пример интерфейса подсистемы визуализации мнемосхем*

Показана необходимость разработки инструментальной системы, на базе которой должны строиться системы управления диспетчерских служб разных уровней. Приведено описание инструментальной системы «Магистраль-Восток», реализующей вышеизложенные принципы и подходы. Эффективность системы «Магистраль-Восток» подтверждается результатами создания и успешного внедрения построенных на ее основе систем оперативного диспетчерского управления таких предприятий, как ОАО «Востокгазпром», ОАО «Томскгазпром» и ООО «Томсктрасгаз», входящих в состав ОАО «Газпром».

Рассмотренные принципы, подходы и инструментальные средства позволяют решить ряд актуальных проблем создания ОСОДУ, однако все возрастающая сложность структуры газотранспортной сети, повышение ее нагрузки вследствие увеличения объема добычи газа, диктуют необходимость дальнейших исследований и разработок в этой области.

Работа поддержана грантом Президента РФ № МК-2557.2005.09.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Герке В.Г., Ефремов В.А. Подсистема потокового моделирования комплекса диспетчерского управления потоками газа в Единой системе газоснабжения России // Развитие компьютерных комплексов моделирования, оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли: Матер. 1-й Междунар. научно-практ. конфер. – М: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – Т. 1. – С. 30–38.
2. Посягин Б.С., Герке В.Г. Информационно-аналитические комплексы диспетчерского управления потоками газа единой системы газоснабжения России как инструмент повышения эффективности управления объектами газовой промышленности // Развитие компьютерных комплексов моделирования, оптимизации режимов работы систем газоснабжения и их роль в диспетчерском управлении технологическими процессами в газовой отрасли: Матер. 1-й Междунар. научно-практ. конфер. – М: ООО «ИРЦ Газпром», 2004. – Т. 1. – С. 5–16.
3. Богдан С.А., Кудинов А.В., Марков Н.Г., Мирошниченко Е.А., Остpасть П.М., Родикевич С.С. Автоматизация процессов диспетчерского управления нефте- и газотранспортными сетями // Межвузовский сб. научно-техн. трудов «Автоматизированное управление и информационные технологии». Вып. 1. – Томск: Изд-во ТПУ, 2005. – С. 56–64.
4. Кориков А.М., Сафьянова Е.Н. Основы системного анализа и теории систем / Под ред. Ф.П. Тарасенко. – Томск: Изд-во Том. ун-та, 1989. – 208 с.
5. Кудинов А.В., Марков Н.Г. Геоинформационные технологии в управлении пространственными инженерными сетями. – Томск: Изд-во ТПУ, 2004. – 176 с.

УДК 504.064(4)